干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

基于空天地一体化的黑河流域自然资源要素综合观测网络构建

裴小龙[1,2]， 高天胜[3]， 祝晓松[1]， 韩小龙[3]

（1. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心，河北 廊坊 065000；
2. 自然资源要素耦合过程与效应重点实验室，北京 100055；
3. 中国地质调查局西宁自然资源综合调查中心，青海 西宁 810000）

摘 要：立足自然资源管理的新要求，全国自然资源要素综合观测网络工程已于2020年全面启动和建设。黑河流域作为西北地区第二大内陆河流域，且处于丝绸之路经济带的核心地段，迫切需要在黑河流域开展试点研究。依托黑河流域现有观测研究基础，采用融合共建、改建升级和空白添建3种方式，分流域、分级别布设观测台站13个，基本覆盖了黑河流域草原、森林、河流、湖泊、荒漠、湿地、农田等主要地表资源类型。结合遥感观测和人工样地调查，初步构建起黑河流域自然资源要素综合观测网络。通过建立统一的运行维护和质量管理体系，确保观测数据的真实性和可靠性。从应用效果来看，黑河流域自然资源要素综合观测网络已基本形成了局部控制的立体化观测能力，可有效获取资源间耦合作用过程、变化趋势和速度等关键数据，对提高黑河流域自然资源认知能力、科学管理和战略决策具有十分重要的意义，对其他流域开展自然资源观测研究也具有重要的借鉴和示范意义。

关 键 词：黑河流域；自然资源管理；空天地一体化观测；野外观测站；综合观测网络

文章编号：

各自然资源要素之间由于存在着密切的物质、能量和信息交换而构成一个相互依存、相互联系和不可分割的生命共同体[1-3]。面对我国自然资源管理的新形势，解决国土空间用途管制和生态修复中涉及到的资源-环境-生态问题，就必须遵循生命共同体发展理念，统筹山水林田湖草系统治理，综合考虑自然生态系统的系统性、完整性，科学合理确定工程实施范围和规模。流域是自然系统的缩影，是自然地理中的基本单元，既包含了水土气生的生态-环境问题，也包含了山水林田湖草的资源问题。强调整体、系统，以流域为单元去认识区域资源系统，是解决资源-环境-生态问题的科学途径[4-6]。流域观测系统和模型系统的建设，是流域科学研究的基础和前提，近些年来，以流域为单元建立的观测研究日益增多，国际上比较有名的有美国的CZO（Critical Zoon Observatory）、欧洲的TERENO（Terrestrial Environmental Observations）、加拿大的CCRN（Changing Cold Regions Network）和中国的黑河流域综合观测网络等[7-9]。

黑河流域综合观测网络始于2007年启动的“黑河遥感联合实验”（Watershed Allied Telemetry Experimental Research, WATER, 2007—2011），2010年国家自然科学基金委员会又启动了“黑河流域生态-水文过程集成研究”重大研究计划（简称黑河计划），通过选取代表性站点，整合已有的设施，建设形成了现有的生态水文观测网络[10-12]。在围绕遥感产品生产与验证、水文与生态过程、决策支持系统等方面取得了一系列重要的研究进展，但成果仅是

收稿日期：2021-12-15； **修订日期**：2022-04-12
基金项目：黑河流域高原山地水源涵养与生态退化调查监测与评价（ZD20220140）；黑河流域自然资源要素综合观测试点（DD20208065）；长三角宁波地区地表基质层调查（DD20211425）资助
作者简介：裴小龙（1988-），男，硕士研究生，工程师，主要从事自然资源调查、监测、观测方面的研究. E-mail: 457934728@qq.com
通讯作者：高天胜（1990-），男，硕士研究生，工程师，主要从事自然资源调查、监测、观测方面的研究. E-mail: zygts@126.com

针对水文和生态方面的科学试验研究，难以有效解决黑河流域内自然资源全要素资源-环境问题，还有待继续深入开展观测研究。

目前，全国自然资源要素综合观测网络工程建设已经被列为我国《自然资源科技创新发展规划纲要》中十二大科技工程之首，于2020年已全面启动和建设[13-14]。黑河流域作为西北地区第二大内陆河流域，综合包括山水林田湖草等多种自然资源要素，是开展流域内自然资源观测研究的理想之地；再者，黑河流域处于丝绸之路经济带的核心地段，区域内资源-生态-环境问题关系到我国西北乃至中亚的生态安全与社会安定，迫切需要在黑河流域开展自然资源要素试点研究。因此，遵循生命共同体发展理念，基于流域科学观测研究方法，结合黑河流域现有观测基础，逐步构建黑河流域自然资源要素综合观测网络，通过长期、连续、稳定的观测，获取资源间耦合作用过程、变化趋势等关键数据，对提高黑河流域自然资源认知能力、科学管理和战略决策具有十分重要的意义，对其他流域开展观测研究也具有很高的借鉴和示范作用。

1 黑河流域观测研究概况

1.1 研究区概况

黑河流域位于97°06′~102°00′E和37°42′~42°42′N之间，地处中国西部干旱半干旱区，是我国第二大内陆河流域，面积约14.3×10^4 km^2。黑河流域发源于祁连山中段，从发源地到居延海全长821 km，全流域以水为纽带形成了“冰川/冻土-森林-草原-河流-湖泊-绿洲-沙漠-戈壁”的多元自然资源景观；流域内寒区和干旱区并存，山区冰冻圈和极端干旱的河流尾闾地区形成了鲜明对比，具有典型的流域上、中、下游自然景观特点（图1）。同时，黑河流域开发历史悠久，人类活动显著地影响了流域的水文环境，这一地区的农业开发、屯田垦殖，无不与水资源深刻地联系在一起。自然和人文过程交汇在一起，使黑河流域成为开展流域综合研究十分理想的试点场地。

1.2 以往工作基础

目前各科研团队根据自身研究需要，已在黑河流域建立了多个野外观测站（网）[10-11,15]，研究内容涉及气象、水文、森林等多个生态领域（表1）。目前黑

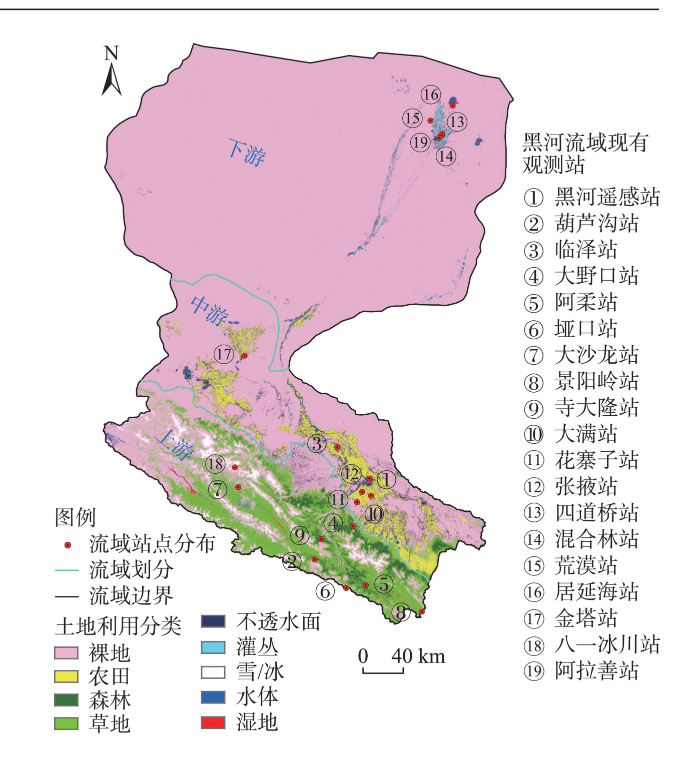


图1 黑河流域景观类型及现有观测站分布示意图

Fig. 1 Landscape types and distribution diagram of existing observation stations in Heihe River Basin

河流域最大和综合的观测网络是黑河流域地表过程综合观测网，它也是我国第一个多要素、多尺度、精细化流域综合观测系统，主要包括水文气象观测网、生态水文传感器网络以及卫星遥感等[16]。该网络现布设运行11个观测站，基本覆盖了黑河流域主要下垫面类型（图1），这也对黑河流域自然资源要素综合观测网络建设提供了很好的工作基础。

1.3 前期台站主要存在问题

面对国家自然资源管理的新形势，全面开展黑河流域开展自然资源全要素综合观测工作，前期台站仍存在以下几方面的问题[17]：

（1）现有观测站（网）隶属多个部门与单位，缺少体系化的顶层设计，尚未形成整体的规划、数据整合和共享机制。

（2）黑河流域虽有大型的综合观测站（网），但针对自然资源要素观测研究仍存在站点分布不均衡、观测数据不统一、观测指标不全面的问题，难以系统支撑自然资源全要素数据获取。

（3）现有观测站（网）多以科学问题为导向，重点围绕某生态系统过程或生态环境问题开展科学观测研究，尚缺乏针对自然资源要素多尺度、全要素的业务观测研究，难以服务支撑黑河流域自然资

表1 黑河流域现有野外观测站(网)

Tab. 1 Current field observation stations (networks) in Heihe River Basin

研究单位	野外观测站(网)	台站位置	研究内容
中国科学院西北生态环境资源研究院、北京师范大学	黑河流域地表过程综合网	全流域	生态水文
中国科学院西北生态环境资源研究院	黑河上游生态-水文试验研究站	上游	生态水文
甘肃省祁连山水源涵养林研究院	甘肃祁连山森林生态系统定位研究站	上游	森林生态
兰州大学	兰州大学寒旱区科学观测网络(寺大隆、大野口野外观测站)	上游	生态水文
中国科学院西北生态环境资源研究院	甘肃临泽农田生态系统国家野外科学观测研究站	中游	农田生态
中国科学院西北生态环境资源研究院	黑河遥感试验研究站	中游	遥感
兰州大学	兰州大学寒旱区科学观测网络	中游	农田生态
中国科学院西北生态环境资源研究院	阿拉善荒漠生态-水文试验站	下游	生态水文

源管理的需要。

2 黑河流域自然资源要素综合观测网络构建

2.1 总体思路

坚持“山水林田湖草”生命共同体理念，秉持“创新机制、协调机构、绿色共建、开放合作、数据共享”的建设原则，以黑河流域自然资源问题和管理需求为导向，构建黑河流域自然资源要素综合观测网。坚持团结黑河流域现有观测和研究力量，探索形成互为补充、协同合作、资源共享的合作机制，充分利用黑河流域现有观测基础，选取和建设具有科学性和代表性的观测站点，探索多种建站模式，优化布设综合观测网络。坚持标准先行，统一观测技术、观测指标、运行维护和质量控制等标准体系，形成自然资源综合观测质量管理体系，确保数据精度和质量，为黑河流域自然资源管理提供科学的数据支撑。

2.2 建设目标

按照系统规划、重点先行、分步推进的建设思路，综合考虑已有观测站(网)基础、自然资源区划单元和经济成本等因素，通过融合、合建、改建和自建等多种方式，逐步构建起观测体系完整、站网布局合理、运行基本稳定的黑河流域自然资源要素综合观测网络，最终形成覆盖黑河流域多尺度、全天候、全要素的空天地立体观测能力。通过产出黑河流域长期、连续的科学数据，揭示自然资源要素相互作用的关键机制，分析预判自然资源发展趋势，为黑河流域自然资源管理提供高质量的数据保障和科学供给。

2.3 具体部署

遵循黑河流域自然资源地带性规律，以自然资源区划环境类型为单元[18-20]，利用融合共建、升级改建和空白添建3种方式，分流域、分级别布设观测站13个(图2)，基本覆盖了黑河流域草原、森林、河流、湖泊、荒漠、湿地、农田等主要地表资源类型。以13个观测站为依托，围绕资源类型，开展航天和无人机遥感协同观测，并结合人工样地调查，对其数据进行相互比对、验证和集成处理，进而获取高质量的自然资源要素观测数据集。

2.3.1 台站观测 按照统一的观测规范及技术标准，融合共建了8个台站，升级改建了3个台站，空白添建了2个台站。从下垫面类型来看，上游主要以高寒草甸和森林为主，中游主要以荒漠、农田和湿地为主，下游主要以荒漠、绿洲和湿地为主，观测台站的布设基本覆盖了整个黑河流域的主要下垫面资源类型(表2)。

从流域分布上来看，在上游、中游、下游各布设了5个、4个、4个观测台站，且在每个流域段中各布设有一个二级站(图3a)，其他均为三级站(图3b)，在成本控制的情况下，实现台站分级别、分层次的联合观测，最大化台站的观测效用[16]。二级站主要由多尺度地表通量与土壤水分观测系统(蒸渗仪/植物液流仪-涡动相关仪-闪烁仪、土壤水分传感器、宇宙射线土壤水分测定仪、土壤温湿度无线传感器网络等)、水文气象要素观测系统(风温湿廓线、气压、降水量、土壤温湿度廓线、四分量辐射、光合有效辐射、土壤热通量、地表辐射温度、平均土壤温度、区域土壤水分、地下水位等)、植被观测系统(物候、植被覆盖度、叶面积指数、反射率光谱和叶绿素

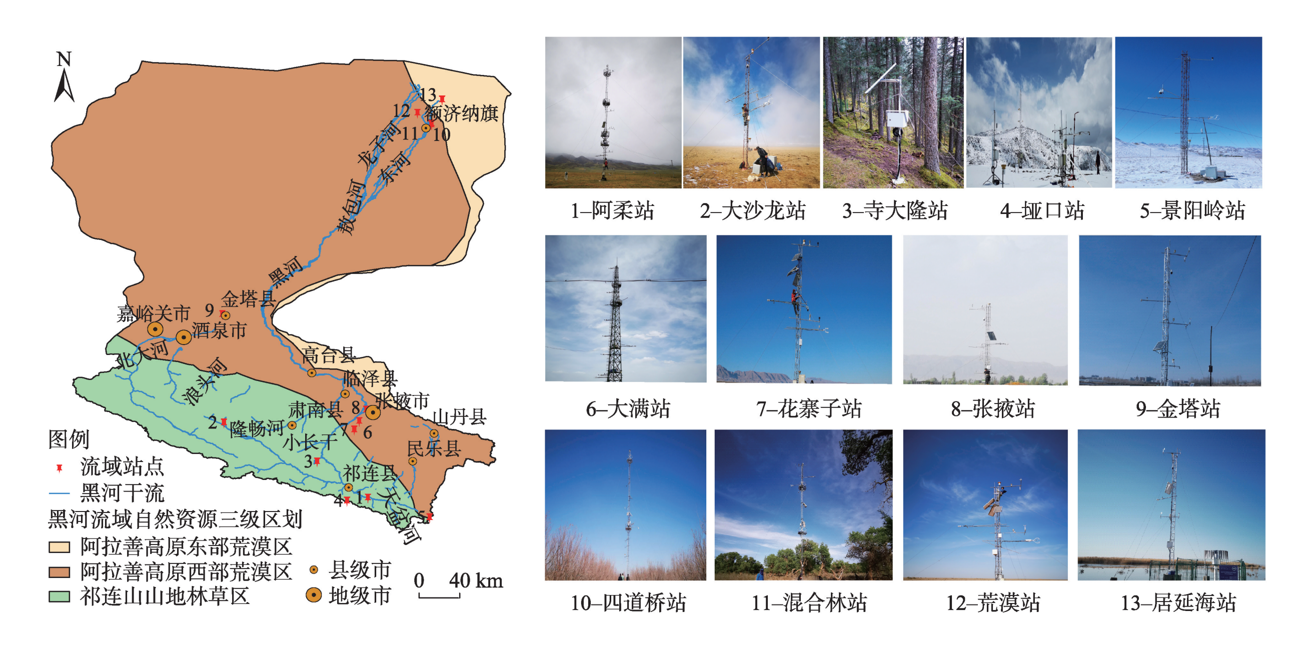


图2　黑河流域自然资源要素综合观测站布设

Fig. 2　Layout of comprehensive observation stations for natural-resource elements in Heihe River Basin

表2　观测站点信息

Tab. 2　Observation stations information

序号	名称	级别	流域	海拔/m	下垫面类型	主要观测设备	建站模式
1	阿柔站	二级	上游	3033	亚高山草甸	EC、OMS、气象要素梯度、COSMOS、物候、土壤水分传感器网络、称重式雨雪量计	升级改建
2	大沙龙站	三级	上游	3739	沼泽化高寒草甸	EC、AWS	融合共建
3	寺大隆站	三级	上游	3034	青海云杉林	EC、AWS、红外相机观测阵列	融合共建
4	垭口站	三级	上游	4148	高山稀疏植被	EC、AWS、积雪观测系统	融合共建
5	景阳岭站	三级	上游	3750	高寒草甸	EC、AWS	融合共建
6	大满站	二级	中游	1556	农田	EC、OMS、气象要素梯度、COSMOS、物候、土壤水分和叶面积指数传感器网络	升级改建
7	花寨子站	三级	中游	1731	盐爪爪荒漠	EC、AWS	融合共建
8	张掖站	三级	中游	1460	芦苇湿地	EC、AWS	融合共建
9	金塔站	三级	中游	980	农田	EC、AWS、物候、土壤呼吸、蒸发	空白添建
10	四道桥站	二级	下游	873	柽柳灌丛	EC、LAS、气象要素梯度、COSMOS、物候、叶面积指数传感器网络、地下水位观测	升级改建
11	混合林站	三级	下游	874	胡杨疏林	EC、AWS、物候、叶面积指数传感器网络、地下水位观测	融合共建
12	荒漠站	三级	下游	1054	红砂荒漠	EC、AWS	融合共建
13	居延海站	三级	下游	788	湿地	EC、AWS、物候、地下水水质水量、蒸发	空白添建

注：EC为涡动相关仪；LAS为大孔径闪烁仪；OMS为双波段闪烁仪；AWS为自动气象站；COSMOS为宇宙射线土壤水分观测系统。

荧光等）等组成。三级站主要由涡动相关仪、水文气象观测系统（风温湿压、降水量、土壤温湿度廓线、四分量辐射、光合有效辐射、土壤热通量、地表辐射温度、地下水位等参数）、植被观测系统（物候、植被覆盖度）等组成。

2.3.2　*遥感观测*　卫星遥感观测主要包括无人机-高分卫星和中高分辨率卫星观测，利用长时间序列的中、高分辨率卫星遥感数据、高分卫星遥感数据及精细无人机监测数据，并融合和同化地面观测数据，生成黑河流域中高分辨率长时序动态自然资源多要素遥感产品，实现对全区域自然资源的长时序、动态监测[10–11,21]。主要的自然资源遥感产品包括：基础要素［土地覆盖/利用、数字高程（DEM）等］，植被要素（植被覆盖度、叶面积指数、植被初级生产

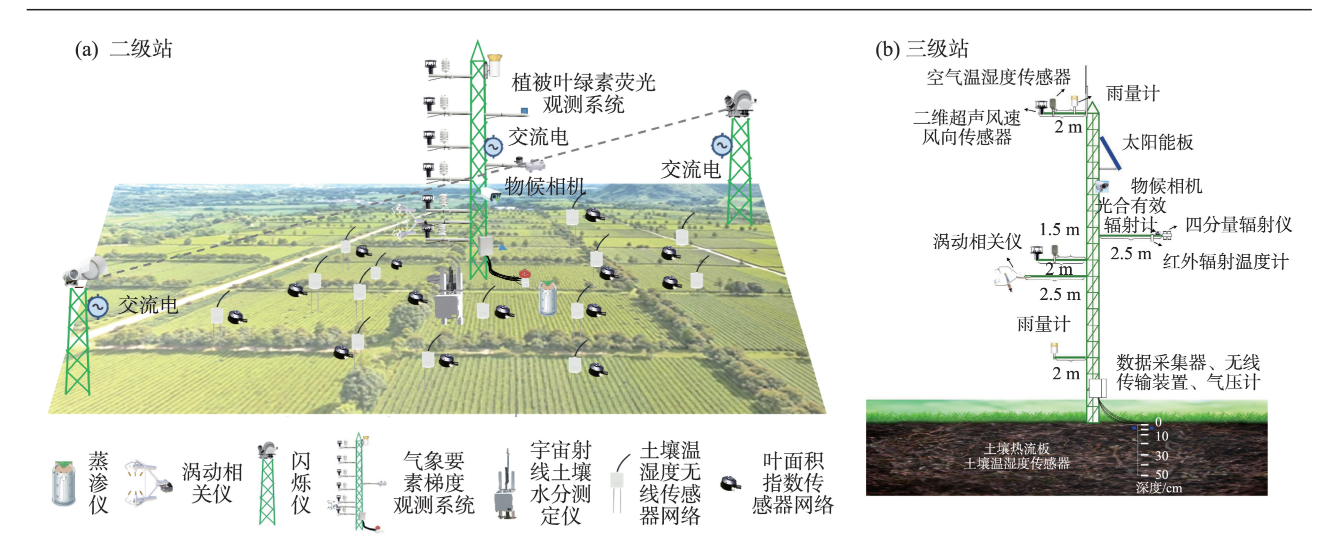


图3　观测站示意图

Fig. 3　Schematic diagram of observation stations

力、归一化植被指数、草地生物量、森林蓄积量等），水文要素（冰川分布、水体指数、土壤水分、地表蒸散发等），以及包括森林、草地、农田、荒漠等资源要素的空间分布和面积等。

2.3.3　样地调查　在观测站（网）融合共建的基础上，为补充观测台站和遥感观测难以获取的参数，主要开展水、土壤、植被资源样地调查和采样分析[22]。水资源调查主要包括地表和地下水水质、水量、理化性质等指标，土壤资源调查主要包括土地利用/覆盖、土壤理化性质、土壤肥力、耕地面积与立地质量、产量等指标，植被资源调查主要包括物候、叶面积指数、草地植被盖度与生产力、森林蓄积量等指标（图4）。

3　观测技术体系

3.1　观测标准规范

技术标准规范是野外观测台站规范建设、科学运行的基本保证，是确保数据质量的关键。在梳理国内主要观测台站标准规范的基础上（表3），结合自然资源要素综合观测网络实际，初步建立了自然资源要素标准规范体系，现已形成《自然资源要素

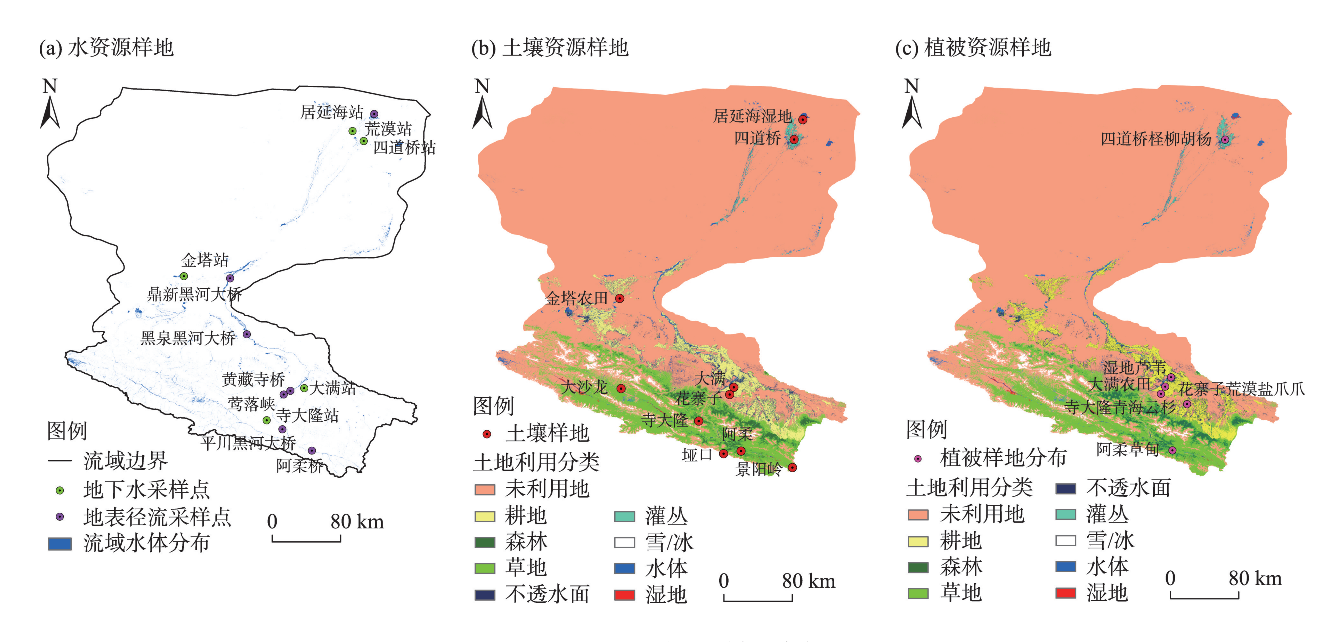


图4　黑河流域人工样地分布

Fig. 4　Distribution of artificial sample plots in Heihe River Basin

综合观测技术规范》《自然资源要素综合观测项目预算标准》《自然资源要素综合观测数据融合规程》《自然资源要素综合观测数据规范》《自然资源要素综合观测数据采集指南》和《自然资源要素综合观测观测站管理办法》6个标准规范讨论稿。

3.2 观测指标体系

自然资源要素综合观测综合采用了台站观测、遥感观测、人工样地调查等多种观测技术方法，很好地解决了在时间尺度和空间尺度方面的差异化精度要求。而系统的观测指标体系是开展自然资源观测的前提和基础。根据自然资源要素综合观测指标体系建立和指标选取的基本原则，在自然资源要素分类的基础上，采用正反演相结合、模块组合等方法[23]，围绕自然资源数量、质量和相互影响作用方面开展筛选、整合和设计，构建合理的观测指标体系（表4），可有效应用于多尺度的立体化综合观测中，努力解决自然资源要素综合观测在数据应用上的兼容难题。

3.3 运行维护体系

制定详细的运维体系和运维流程是实现观测台站长期稳定运行的根本。培养专业的运维管理团队，分别从日、旬、月、年的时间尺度做好观测仪器设备日常运行维护（图5）。每日须浏览各观测站点实时传输的观测数据，查看数据的连续性和稳定性，通过监控设备查看观测场地的仪器状况和运行状态。每旬须通过系统绘制的连续数据变化图，查看数据变化是否发生持续性异常值等。每月须由运维技术人员实地到观测站进行巡检，主要进行现场数据采集、仪器设备检测、异常传感器擦拭、观测场景拍照、植被物候和下垫面状况记录等内容。每年初要对前一年的数据进行预处理和检查，同时在春、秋季（植被生长、结束）需要对观测仪器设备全面进行检查和标定[16]。

3.4 质量控制体系

融合遥感观测、台站观测和地面调查等数据，统一标准规范、统一精度要求、统一数据格式，建立观测数据处理与质量控制流程[24]，实现自动、半自动和人工质量控制模式，构建基于观测技术、仪器标定和运行维护等的全过程观测站管理体系。通过黑河流域观测数据处理中心的数据检验和质量分析，确保观测数据准确、规范、完整，产出高质量的黑河流域自然资源要素观测数据集，进而汇总提交到全国自然资源综合观测一体化平台[25]，实现数据的在线管理和终端共享等服务（图6）。

表3 国内野外观测站建设标准规范

Tab. 3 Construction standards and specifications of domestic field observation stations

台站类型	标准规范
气象观测站	《地面气象观测规范》
水文观测站	《水资源实时监控系统建设技术导则》《水资源监测设备技术要求》《水资源监测要素》
森林观测站	《森林生态系统定位研究站建设技术要求》《森林生态系统长期定位观测方法》
土壤观测站	《土壤环境监测技术规范》《农田土壤环境质量监测技术规范》《土壤监测规程》
湿地观测站	《湿地生态系统定位研究站建设技术要求》《湖泊湿地生态系统定位观测技术规范》
荒漠观测站	《荒漠生态系统观测研究站建设规范》《湿地生态系统定位研究站建设技术要求》
草地观测站	《草地生态系统观测方法》

表4 观测指标信息

Tab. 4 Information of observation indices

类别	观测指标	观测方法
气候要素	地表通量（感热、潜热通量、碳通量）、风速、风向、空气温湿度、气压、四分量辐射（向上/下短波辐射，向上/下长波辐射）、光合有效辐射、红外温度、土壤温度廓线、土壤热通量、大气质量（负离子、干湿沉降）	台站观测
水文要素	降水量、地下水位、蒸散发、土壤水分、水质（pH、电导率、浊度等）、水体指数、冰川	台站观测、遥感观测、样地调查
植被要素	植被物候、覆盖度、叶面积指数、植被净初级生产力、森林蓄积量	台站观测、遥感观测、样地调查
土地/土壤要素	土地利用/覆盖、数字高程（DEM）、土壤质地（粒度组成、饱和导水率、孔隙度、容重等）、土壤肥力[土壤全碳含量、有机碳（腐殖质）、磷含量、氮含量、电导率、pH等]	遥感观测、样地调查

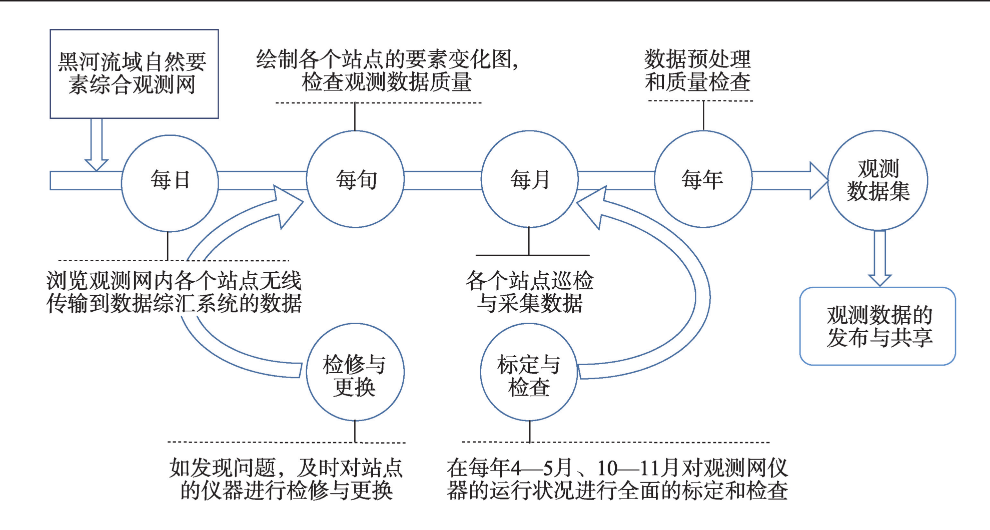


图5　黑河流域自然要素综合观测网运维流程

Fig. 5　Operation and maintenance process of comprehensive observation network of natural elements in Heihe River Basin

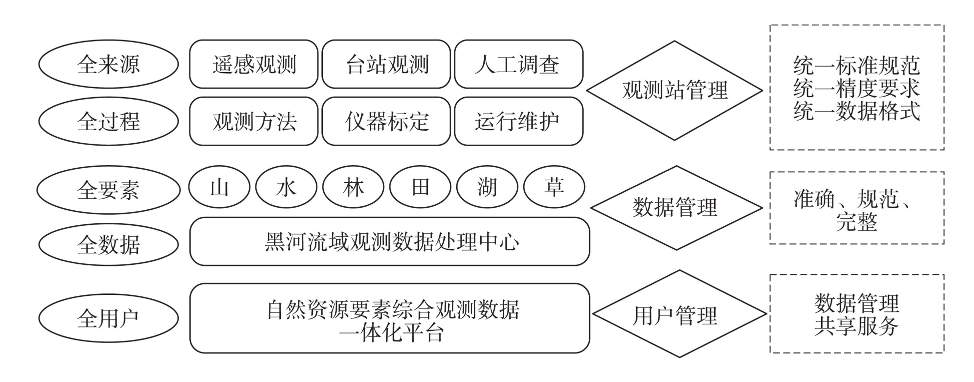


图6　自然资源要素观测质量控制示意图

Fig. 6　Schematic diagram of quality control for observation of natural-resource elements

4　案例与成效

通过遥感观测，得到了阿柔站、大沙龙站、花寨子站、大满站、四道桥站5个站点方圆1 km内的自然资源要素的分布范围及空间位置信息，结合5个站点的自动观测和周边布设典型样地的人工调查，有效获取了上述5个站点的自然资源要素种类、数量、质量等信息(图7、图8)。从应用效果来看，通过布设合理的观测台站，结合遥感观测等技术方法，能有效获取自然资源多要素的空间分布、种类、数量、质量等关键信息。构建的自然资源要素综合观测网络，已初步形成局部控制的空天地立体观测能力。

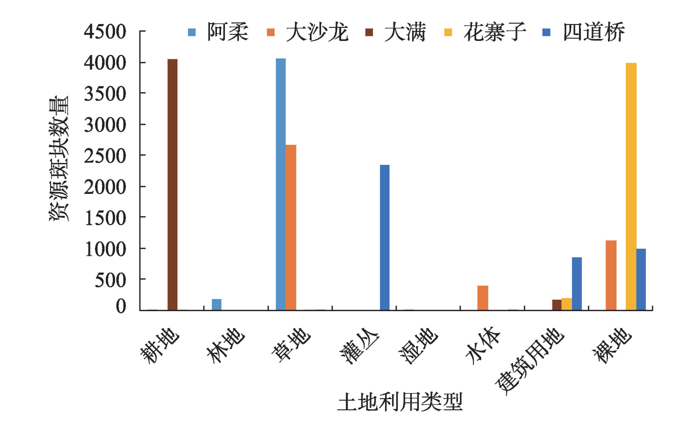


图7　5个站点自然资源斑块数量

Fig. 7　Number of natural resource patches in the five stations

5　结 论

通过与中科院西北院、北京师范大学和兰州大学等科研院所广泛合作，利用黑河流域原有观测基础，采用融合共建、升级改建、空白添建3种建站模式，分流域、分级别建成观测台站13个，结合遥感观测和人工样地调查，初步构建起黑河流域自然资源要素综合观测网络，基本形成了局部控制的立体化

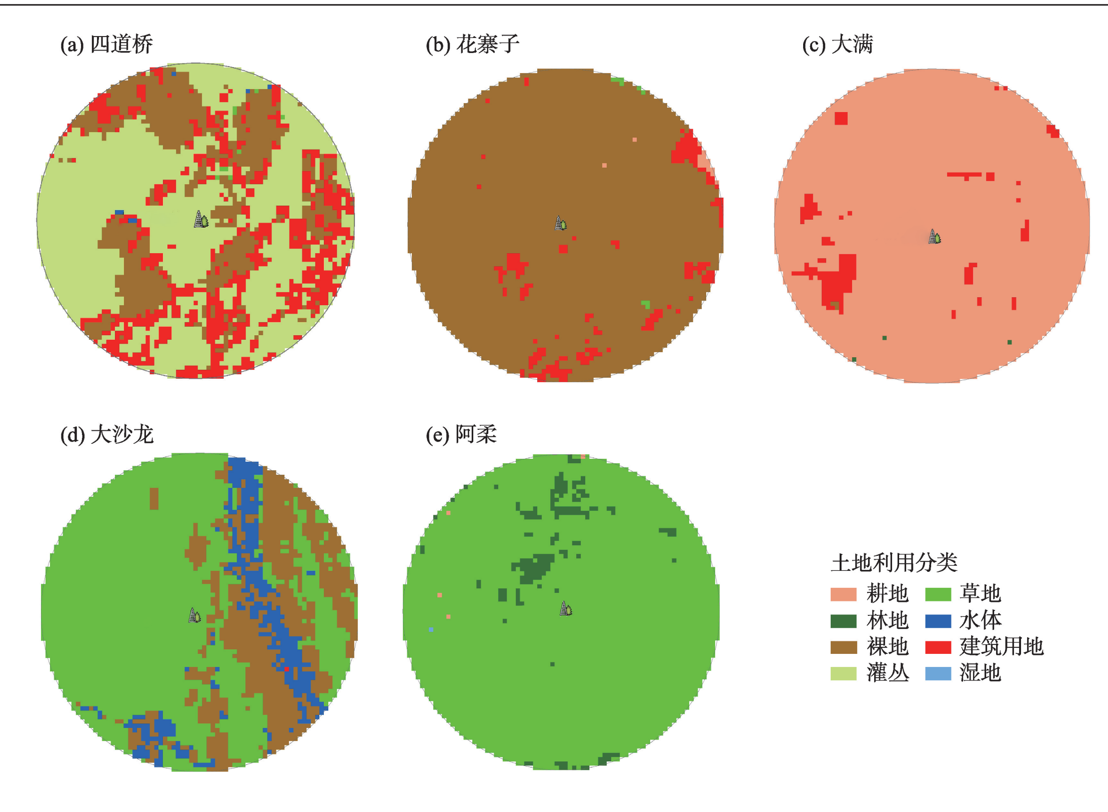


图8 5个站点自然资源分布

Fig. 8 Distribution of natural resources in the five stations

观测能力。但要看到,然资源要素综合观测是一项长期性和探索性很强的系统建设工程,涉及台站建设、经费保障、运行维护、质量控制等多个方面工作。要实现观测网络的全面运行,笔者认为还需要加强以下几方面的工作:

(1) 加强组织领导,建立健全组织机构,统筹观测网络体系建设,确保台站科学运行管理。

(2) 探索合作机制,打破行业壁垒,加强与现有观测台站就合作建站和数据共享等方面广泛开展研究,探索建立与农业、林业、牧业等有关部门的长期合作机制,促进社会各行业市场化服务。

(3) 稳定经费保障,建立多元化的经费投入保障体系。设立观测网络专项经费,积极探索社会资金投入机制。

(4) 创建重点实验室等科技创新平台,加强人才培养,开展跨部门、跨领域、跨学科科学研究,为解决黑河流域地区重大资源环境问题提供科研支撑。

参考文献(References)

[1] 吴国雄, 郑度, 尹伟伦, 等. 专家笔谈: 多学科融合视角下的自然资源要素综合观测体系构建[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1839-1848. [Wu Guoxiong, Zheng Du, Yin Weilun, et al. Insights: Building a national comprehensive observation system of natural resource elements from the perspective of multidisciplinary integration[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1839-1848.]

[2] 严竞新, 殷小庆, 陈骏, 等. 自然资源调查与监测标准现状分析[J]. 测绘标准化, 2019, 35(4): 1-4. [Yan Jingxin, Yin Xiaoqing, Chen Jun, et al. Analysis of the developments of standards for natural resources investigation and monitoring[J]. Standardization of Surveying and Mapping, 2019, 35(4): 1-4.]

[3] 沈镭, 张红丽, 钟帅, 等. 新时代下中国自然资源安全的战略思考[J]. 自然资源学报, 2018, 33(5): 721-734. [Shen Lei, Zhang Hongli, Zhong Shuai, et al. Strategic thinking on the security of natural resources of China in the new era[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(5): 721-734.]

[4] 李新, 程国栋. 流域科学研究中的观测和模型系统建设[J]. 地球科学进展, 2008, 23(7): 756-764. [Li Xin, Cheng Guodong. On the watershed observing and modeling systems[J]. Advances in Earth Science, 2008, 23(7): 756-764.]

[5] 程国栋, 李新. 流域科学及其集成研究方法[J]. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(6): 811-819. [Cheng Guodong, Li Xin. Integrated research methods in watershed science[J]. Science China: Earth Sciences, 2015, 45(6): 811-819.]

[6] 江恩慧, 王远见, 田世民, 等. 流域系统科学初探[J]. 水利学报, 2020, 51(9): 1026-1037. [Jiang Enhui, Wang Yuanjian, Tian Sh-

imin, et al. Exploration of watershed system science[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2020, 51(9): 1026-1037.]

[7] Liu S M, Xu Z W, Wang W Z, et al. A comparison of eddy-covariance and large aperture scintillometer measurements with respect to the energy balance problem[J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2011, 15(4): 1291-1306.

[8] Li X, Li X W, Li Z Y, et al. Watershed allied telemetry experimental research[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2012, 114(19): 2191-2196.

[9] Li X, Cheng G D, Liu S M, et al. Heihe watershed allied telemetry experimental research (HiWATER): Scientific objectives and experimental design[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2013, 94(8): 1145-1160.

[10] 李新, 马明国, 王建, 等. 黑河流域遥感-地面观测同步试验: 科学目标与试验方案[J]. 地球科学进展, 2008, 23(9): 987-914. [Li Xin, Ma Mingguo, Wang Jian, et al. Simultaneous remote sensing and ground-based experiment in the Heihe River Basin: Scientific objectives and experiment design[J]. Advances in Earth Science, 2008, 23(9): 987-914.]

[11] 李新, 李小文, 李增元, 等. 黑河综合遥感联合试验研究进展:概述[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(5): 637-649. [Li Xin, Li Xiaowen, Li Zengyuan, et al. Progresses on the watershed allied telemetry experimental research (WATER)[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(5): 637-649.]

[12] 李新, 刘绍民, 马明国, 等. 黑河流域生态-水文过程综合遥感观测联合试验总体设计[J]. 地球科学进展, 2012, 27(5): 481-498. [Li Xin, Liu Shaomin, Ma Mingguo, et al. HiWATER: An integrated remote sensing experiment on hydrological and ecological processes in the Heihe River Basin[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(5): 481-498.]

[13] 陆成宽. 自然资源要素综合观测体系开建[EB/OL]. [2020-06-01]. http://www.mnr.gov.cn/dt/mtsy/201912/t20191218_2490347.html. [Lu Chengkuan. A comprehensive observation system for natural resource elements has been established[EB/OL]. [2020-06-01]. http://www.mnr.gov.cn/dt/mtsy/201912/t20191218_2490347.html.]

[14] 刘晓煌, 刘晓洁, 程书波, 等. 中国自然资源要素综合观测网络构建与关键技术[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1849-1859. [Liu Xiaohuang, Liu Xiaojie, Cheng Shubo, et al. Construction of a national natural resources comprehensive observation system and key technologies[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1849-1859.]

[15] 中国科学院西北生态环境资源研究院. 中国科学院黑河遥感试验研究站[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(11): 1424-1426. [Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences. Heihe Remote Sensing Experimental Research Station, Chinese Academy of Sciences[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(11): 1424-1426.]

[16] 徐自为, 刘绍民, 车涛, 等. 黑河流域地表过程综合观测网的运行、维护与数据质量控制[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1975-1986. [Xu Ziwei, Liu Shaomin, Che Tao, et al. Operation and maintenance and data quality control of the Heihe integrated observatory network[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1975-1986.]

[17] 高春东, 何洪林. 野外科学观测研究站发展潜力大应予以高度重视[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(3): 344-348. [Gao Chundong, He Honglin. Great importance should be attached to development potential of field scientific observation and research[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(3): 344-348.]

[18] 郑度, 欧阳, 周成虎. 对自然地理区划方法的认识与思考[J]. 地理学报, 2008, 75(6): 563-573. [Zheng Du, Ou Yang, Zhou Chenghu. Understanding of and thinking over geographical regionalization methodology[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 75(6): 563-573.]

[19] 王劲峰. 全国自然资源要素综合观测站点布设报告[R]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2020. [Wang Jinfeng. The national natural resources comprehensive observation site layout report[R]. Beijing: Institute of Geographic Science and Nature Resources Research, Chinese Academy of Sciences, 2020.]

[20] 李倩. 我国将构建自然资源统一调查监测体系[J]. 国土资源, 2018, 35(8): 14-15. [Li Qian. China will establish a unified survey and monitoring system for natural resources[J]. Land Resources, 2018, 35(8): 14-15.]

[21] 张玉杰, 王宁练, 杨雪雯, 等. 基于多源遥感数据的1970—2020年巴尔喀什湖动态监测[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 499-511. [Zhang Yujie, Wang Ninglian, Yang Xuewen, et al. Dynamic monitoring of Balkhash Lake from 1970 to 2020 based on multi-source remote sensing data[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 499-511.]

[22] 杨萍, 白永飞, 宋长春, 等. 野外站科研样地建设的思考、探索与展望[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(1): 125-135. [Yang Ping, Bai Yongfei, Song Changchun, et al. Construction of long-term ecological research sites in field station: Status, progress and prospect [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(1): 125-135.]

[23] 张贺, 王绍强, 王梁, 等. 自然资源要素综合观测指标体系探讨[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1883-1899. [Zhang He, Wang Shaoqiang, Wang Liang, et al. Discussion on the indicator system of comprehensive observation of nature resource elements[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1883-1899.]

[24] 刘玖芬, 高阳, 冯欣, 等. 自然资源要素综合观测质量管理体系构建[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1944-1952. [Liu Jiufen, Gao Yang, Feng Xin, et al. Construction of the quality management system for comprehensive observation of natural resources[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1944-1952.]

[25] 孙益, 方梦阳, 何建宁, 等. 基于物联网和数据中台技术的自然资源要素综合观测平台构建[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1965-1974. [Sun Yi, Fang Mengyang, He Jianning, et al. Construction of a comprehensive observation platform for natural resource elements based on internet of things and open data processing service technology[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1965-1974.]

Construction of comprehensive observation network of natural resource elements in Heihe River Basin based on integration of space-air-ground

PEI Xiaolong[1,2], GAO Tiansheng[3], ZHU Xiaosong[1], HAN Xiaolong[3]

(1. Langfang Comprehensive Survey Center of Natural Resources, China Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China; 2. Key Laboratory of Coupling Process and Effect of Natural Resources Elements, Beijing 100055, China; 3. Xining Comprehensive Survey Center of Natural Resources, China Geological Survey, Xining 810000, Qinghai, China)

Abstract: Based on the demand for natural resource management in China, and adhering to natural resources science and earth system science theory, the national natural resource elements comprehensive observation network project has been active since 2020. This project takes environment types and natural resources localization as input and adheres to the working principles of innovation mechanism, coordination organization, green cooperation, open cooperation, and data sharing. As the second largest inland river basin in northwest China, the Heihe River Basin is at the core of the Silk Road Economic Belt. The resource and environmental problems in the basin are significant, and thus, there is an urgent need to carry out research in the Heihe River Basin. Cold and arid areas coexist in the basin; this basin has the typical characteristics in the upper, middle, and lower reaches of the basin. This river basin represents an ideal site for comprehensive observation and research. Based on the current observation and research in the Heihe River Basin, 13 observation stations were set up in different river basins and levels by three ways of integration, reconstruction and upgrading, and new constructions in blank space. The main types of land surface use, such as grassland, forest, river, lake, desert, wetland, and farmland in the Heihe River Basin were basically covered. Combining remote sensing observations and artificial sample plot investigation, a comprehensive observation network of natural resource elements in Heihe River Basin is constructed in this work. By establishing a unified operation, maintenance, and quality management system, the authenticity and reliability of the observation data are ensured. The comprehensive observation network of natural resources elements in Heihe River Basin permits a three-dimensional observation capacity, which can effectively obtain the key data, such as the coupling process, change trends, and speed between resources. This is of great significance to the improvement of the scientific management and strategic decision making related to the natural resources in Heihe River Basin. The study also provides an important reference for further studies and demonstrates the significance of the observation of and research into natural resources in other basins.

Key words: Heihe River Basin; natural resources management; integrated observation of space-air-ground; field observation stations; comprehensive observation network